

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

第2720131号

(45)発行日 平成10年(1998)2月25日

(24)登録日 平成9年(1997)11月21日

(51)Int.Cl.<sup>a</sup>  
G 0 1 N 23/207  
G 0 1 B 15/02

識別記号

府内整理番号

F I

G 0 1 N 23/207  
G 0 1 B 15/02

技術表示箇所

Z

請求項の数3(全8頁)

(21)出願番号 特願平4-123611  
(22)出願日 平成4年(1992)5月15日  
(65)公開番号 特開平5-322804  
(43)公開日 平成5年(1993)12月7日

(73)特許権者 000005108  
株式会社日立製作所  
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地  
(72)発明者 宇佐美 勝久  
茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社  
日立製作所 日立研究所内  
(72)発明者 小林 審雄  
茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社  
日立製作所 日立研究所内  
(74)代理人 弁理士 畠沼 長之  
審査官 森 竜介

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 X線反射プロファイル測定方法及び装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】高さ方向に開き角を有するシート状X線束を生成し、該シート状X線束を単色化すると共に、該単色化されたシート状X線束をスリットを介して試料表面上で集束させ、該スリットを単色化されたシート状X線束の高さ方向にステップ状に移動させることにより試料へのシート状X線束の入射角を走査し、この入射角に応じて試料からの反射シート状X線束を検出するX線検出手段の検出部を一定の関係に基づいて移動させることを特徴とするX線反射プロファイル測定方法。

【請求項2】ライン状のX線束を発生するライン状X線源と、

該ライン状X線源から出射されたX線束の幅方向の発散を制限する第1の発散制限用スリットと、

該第1の発散制限用スリットから出射されたX線束の高

さ方向の発散を制限する第2の発散制限用スリットと、該第2の発散制限用スリットから出射されたシート状X線束を単色化するX線単色化手段と、試料の位置調整を行なう試料傾斜及び位置調整手段を含む試料支持台と、試料に入射されるシート状X線束と試料とのなす角度を走査する試料角度走査手段と、試料からの反射X線を通過せしめる検出スリットと、該検出スリットを介して試料より反射されたX線の強度を検出するX線検出手段と、該X線検出手段を該X線検出手段に入射されるシート状X線束の幅方向に直進走査する検出部走査手段と、前記検出スリット、X線検出手段及び検出部走査手段が搭載された検出部支持台と、該検出部支持台に搭載された検出スリット及びX線検出

Bc

手段を試料から反射されたシート状X線束の反射角に応じて角度走査する検出部支持台走査手段と、  
入射されたシート状X線束と試料とのなす角度に応じてその試料からの反射シート状X線束が前記X線検出手段により検出されるように前記試料角度走査手段及び検出部支持台走査手段を一定の関係に基づいて駆動制御する制御手段とを有し、前記試料角度走査手段は、試料を回転駆動することにより回転走査を行なう走査機構部を含み、前記検出部支持台走査手段は、前記検出部支持台に搭載された検出スリット及び検出手段を直進走査を行なう走査機構部を含んで構成されることを特徴とするX線反射プロファイル測定装置。

【請求項3】 ライン状のX線束を発生するライン状X線源と、  
該ライン状X線源から出射されたX線束の幅方向の発散を制限する第1の発散制限用スリットと、  
該第1の発散制限用スリットから出射されたX線束の高さ方向の発散を開き角を有するように制限する第2の発散制限用スリットと、  
該第2の発散制限用スリットから出射されたシート状X線束を単色化するX線単色化手段と、  
該X線単色化手段から出射され、試料に照射される高さ方向に開き角を有するシート状X線束の高さ方向の大きさを決定するX線束入射手段と、  
試料からの反射X線を通過せしめる検出スリットと、  
該検出スリットを介して試料より反射されたX線の強度前記検出スリット、X線検出手段及び検出部走査手段が搭載された検出部支持台と、  
該検出部支持台上に搭載された検出スリット及びX線検出手段を試料から反射されたシート状X線束の反射角に応じて角度走査する検出部支持台走査手段と、  
入射されたシート状X線束と試料とのなす角度に応じてその試料からの反射シート状X線束が前記X線検出手段により検出されるように前記X線束入射手段及び検出部支持台走査手段を一定の関係に基づいて駆動制御する制御手段とを有し、前記X線単色化手段はヨハンソン型済曲結晶分光素子を含んで構成され、かつ前記X線束入射手段は直進走査可能な支持機構を備えたスリットを含んで構成されると共に、前記ライン状X線源及びヨハンソン型済曲結晶分光素子の済曲面はローランド円上に設置され、前記ヨハンソン型済曲結晶分光素子より出射されたシート状X線束の集束位置に試料が配置されるように構成されることを特徴とするX線反射プロファイル測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 液晶を用いたディスプレイや半導

体などの分野で基板上に多層の薄膜を積層した材料や素子において、これら材料や素子内での膜厚分布を非破壊的にかつ迅速に測定するのに好適なX線反射プロファイル測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 半導体を始め多くの分野で基板上に多数の薄膜を積層した材料や素子が用いられている。形成された膜の膜厚は、その材料や素子の特性にしばしば影響を与えるため、正確に制御することが必要であり、そのためには膜厚の正確な測定や材料内での膜厚分布計測が必須である。

【0003】 このような観点から従来いくつかの膜厚測定法が考案されている。この中でX線の反射プロファイルを用いた方法は、光に対し透明性のない系、例えばSi基板やガラス基板上に金属膜を形成した系での金属膜厚の測定あるいは多層の金属膜を形成した系での膜厚の測定も可能であるという利点がある。これは論文“K. Sakurai and A. Iida: to be published in Adv. X-Ray Anal. 35(1992)”にて発表されており、またX線反射率測定装置として市販されている。

【0004】 従来のX線の反射プロファイル測定装置による測定の概要を図2を参照して説明する。同図において、X線源1からのX線を結晶分光器あるいはフィルタ等のX線単色器6で単色化し、入力スリット8で適宜、単色X線束7の形状を成型した後、試料11に照射する。さらに試料11から反射されたX線強度を試料11より反射プロファイルを測定している。

【0006】 検出スリット12を省き、十分大きい検出器を用いて試料のθ走査だけで反射プロファイルを測定している場合もあるが、この場合には散乱線のためS/Nが低下する。

【0007】 次に図3に反射プロファイルの模式図を示す。X線の波長と物質で決まる全反射角度より僅かに大きい角度領域に振動パターンが生じ、この振動パターンの周期から膜厚が求められる。図3から判るように非常に小さい角度領域に振動パターンは生じるため測定前に入射X線と試料表面との平行性を十分良くした後に測定する必要があり、従来装置では1回の試料平行性の調整で1つの反射プロファイルを測定している。このため1回の計測で1点の膜厚しか得られず、膜厚分布の測定では、試料を適宜、並進走査して所望の測定位置毎に反射プロファイルを測定し試料全体の膜厚分布を求めている。また従来装置では試料台の回転軸と検出器の回転軸を同一にしたθ/2θ走査を行う回転機構が用いられており、該試料台上にX線と試料表面との平行性調整機構及び試料並進機構が組み込まれた構成になっている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】 上述したようにX線反射プロファイルの測定による膜厚測定はどんな対象にも適用可能であり、しかも精度良く測定できるという優れた特徴を有する。

【0009】しかし、従来のX線反射プロファイル測定装置による膜厚分布測定では、本質的に点測定であるために膜厚分布を調べるためにには多数の反射プロファイルをその都度入射X線と試料表面との平行性を調整して測定する必要があった。このため膜厚分布測定には多大の計測時間を要するという問題があった。

【0010】また従来のX線反射プロファイル測定装置では試料の角度走査と検出器の角度走査の軸を同軸にした試料台を使用しているため、膜厚分布の計測には必要不可欠な試料自体の並進走査及び平行性調整を行なう機構をこの試料台上に組み込んだ構成となっており、特に大口径試料への適用を考えたとき試料台自体が大型化し、複雑化するという問題があった。

【0011】本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、1回の試料位置調整で多数点の反射プロファイルの測定を可能にして試料位置調整に要する時間を低減し、延いては膜厚分布測定の所要時間を短縮すると共に、試料台の簡素化を図ったX線反射プロファイル測定方法及び装置を提供することにある。

#### 【0012】

【課題を解決するための手段】 本発明のX線反射プロファイル測定方法は、高さ方向に開き角を有するシート状X線束の高さ万向にステップ状に移動させることにより試料へのシート状X線束の入射角を走査し、この入射角に応じて試料からの反射シート状X線束を検出するX線検出手段の検出部を一定の関係に基づいて移動させることを特徴とする。

【0013】本発明のX線反射プロファイル測定装置は、ライン状のX線束を発生するライン状X線源と、該ライン状X線源から出射されたX線束の幅方向の発散を制限する第1の発散制限用スリットと、該第1の発散制限用スリットから出射されたX線束の高さ方向の発散を制限する第2の発散制限用スリットと、該第2の発散制限用スリットから出射されたシート状X線束を単色化するX線単色化手段と、試料の位置調整を行なう試料傾斜及び位置調整手段を含む試料支持台と、試料に入射されるシート状X線束と試料とのなす角度を走査する試料角度走査手段と、試料からの反射X線を通過せしめる検出スリットと、該検出スリットを介して試料より反射されたX線の強度を検出するX線検出手段と、該X線検出手段を該X線検出手段に入射されるシート状X線束の幅方向に直進走査する検出部走査手段と、前記検出スリット、X線検出手段及び検出部走査手段が搭載された検出

部支持台と、該検出部支持台に搭載された検出スリット及びX線検出手段を試料から反射されたシート状X線束の反射角に応じて角度走査する検出部支持台走査手段と、入射されたシート状X線束と試料とのなす角度に応じてその試料からの反射シート状X線束が前記X線検出手段により検出されるように前記試料角度走査手段及び検出部支持台走査手段を一定の関係に基づいて駆動制御する制御手段とを有し、前記試料角度走査手段は、試料を回転駆動することにより回転走査を行なう走査機構部を含み、前記検出部支持台走査手段は、前記検出部支持台に搭載された検出スリット及び検出手段を直進走査を行なう走査機構部を含んで構成されることを特徴とする。

【0014】本発明のX線反射プロファイル測定装置は、ライン状のX線束を発生するライン状X線源と、該ライン状X線源から出射されたX線束の幅方向の発散を制限する第1の発散制限用スリットと、該第1の発散制限用スリットから出射されたX線束の高さ方向の発散を開き角を有するように制限する第2の発散制限用スリットと、該第2の発散制限用スリットから出射されたシート状X線束を単色化するX線単色化手段と、該X線単色化手段から出射され、試料に照射される高さ方向に開き角を有するシート状X線束の高さ方向の大きさを決定するX線束入射手段と、試料からの反射X線を通過せしめる検出スリットと、該検出スリットを介して試料より反射されたX線の強度を検出するX線検出手段と、該X線検出手段と、該検出部支持台と、該検出部支持台に搭載された検出スリット及びX線検出手段を試料から反射されたシート状X線束の反射角に応じて角度走査する検出部支持台走査手段と、入射されたシート状X線束と試料とのなす角度に応じてその試料からの反射シート状X線束が前記X線検出手段により検出されるように前記X線束入射手段及び検出部支持台走査手段を一定の関係に基づいて駆動制御する制御手段とを有し、前記X線単色化手段はヨハンソン型湾曲結晶分光素子を含んで構成され、かつ前記X線束入射手段は直進走査可能な支持機構を備えたスリットを含んで構成されると共に、前記ライン状X線源及びヨハンソン型湾曲結晶分光素子の湾曲面はローランド円上に設置され、前記ヨハンソン型湾曲結晶分光素子より出射されたシート状X線束の集束位置に試料が配置されるよう構成されることを特徴とする。

#### 【0015】

【作用】 上記構成のX線反射プロファイル測定方法においては、高さ方向に開き角を有するシート状X線束が生成され、該シート状X線束が単色化されると共に、該単色化されたシート状X線束がスリットを介して試料表面上で集束し、該スリットが単色化されたシート状X線束

の高さ方向にステップ状に移動させられて試料へのシート状X線束の入射角が走査され、この入射角に応じて試料からの反射シート状X線束を検出するX線検出手段の検出部が一定の関係に基づいて移動させられる。

【0016】上記構成のX線反射プロファイル測定装置においては、ライン状X線源によりライン状のX線束が生成され、第1の発散制限用スリットによりライン状X線源から出射されたX線束の幅方向の発散が制限され、該第1の発散制限用スリットから出射されたX線束の高さ方向の発散が第2の発散制限用スリットにより制限される。第2の発散制限用スリットから出射されたシート状X線束はX線単色化手段により単色化され、試料に入射される単色化されたシート状X線束と試料とのなす角度が試料角度走査手段により走査される。検出スリットを介して試料より反射されたX線の強度がX線検出手段により検出され、該X線検出手段が該X線検出手段に入射されるシート状X線束の幅方向に検出部走査手段により直進走査される。前記検出スリット、X線検出手段及び検出部走査手段が搭載された検出部支持台の検出スリット及び検出手段が試料から反射されたシート状X線束の反射角に応じて検出部支持台走査手段により角度走査される。入射されたシート状X線束と試料とのなす角度に応じてその試料からの反射シート状X線束が前記X線検出手段により検出されるように前記試料角度走査手段及び検出部支持台走査手段が制御手段により一定の関係に基づいて駆動制御される。これ、第1の発散制限用スリットによりライン状X線源から出射されたX線束の幅方向の発散が制限され、該第1の発散制限用スリットから出射されたX線束の高さ方向の発散が第2の発散制限用スリットにより開き角を有するように制限される。第2の発散制限用スリットから出射されたシート状X線束はX線単色化手段により単色化され、X線単色化手段から出射され、試料に照射される高さ方向に開き角を有するシート状X線束の高さ方向の大きさはX線束入射手段により決定され、検出スリットを介して試料より反射されたX線の強度がX線検出手段により検出される。X線検出手段は該X線検出手段に入射されるシート状X線束の幅方向に検出部走査手段により直進走査され、前記検出スリット、X線検出手段及び検出部走査手段が搭載された検出部支持台の検出スリット及び検出手段が試料から反射されたシート状X線束の反射角に応じて検出部支持台走査手段により角度走査される。入射されたシート状X線束と試料とのなす角度に応じてその試料からの反射シート状X線束が前記X線検出手段により検出されるように前記X線束入射手段及び検出部支持台走査手段が制御手段により一定の関係に基づいて駆動制御される。

【0018】図1においてライン状X線源1より出射したX線束2は、スリット3により横発散が抑制され、横方向には十分大きく縦方向には細隙を有したスリット4及び5により縦方向の発散が抑制されたシート状の平行性の良いX線束になる。この後、X線単色器6（結晶分光器あるいは適切なフィルタ等）によりこのX線束を単色化することによりシート状の単色X線束7が得られる。

【0019】いまこの単色X線束7の進行方向をy軸に、単色X線束7の進行方向に対する垂直方向をx軸及びz軸とする。シート状X線束7と試料11との平行性を試料傾斜及び位置調整機構9により調整した後、試料11をX線束7に対し角度θだけ傾けるとX線束7は試料11表面にある回転中心線上(L)で反射され、2θの方向にシート状の反射X線束となって反射される。

【0020】検出スリット12及び検出器14を設置した検出部駆動機構を含む駆動台15を駆動して検出器14をRtan(2θ)（Rは試料の回転中心と検出スリットとの距離）だけz方向に直進させれば反射されたX線束は検出スリット12を通過し検出器14に到達する。

【0021】X線束7の平行性は試料11による反射後も保たれていることから、検出スリット12の幅方向の各位置は、試料11のライン上上の位置に1対1に対応する。即ち、検出スリット12の後部に設置した検出器14を幅方向に走査して検出スリット12のそれぞれの位置で透過してきたX線の強度を順次、計測すれば、角5を駆動して検出器14をRtan(2θ)でz軸万向に直進走査させて検出器14によりX線の強度を順次、計測してゆけば、試料11のライン上上の各位置での反射プロファイルが得られる。この反射プロファイルを適宜な方法で解析すればライン上上の各点での膜厚が求められ、X線束と試料との平行性の調整を1回、行なうのみで試料上の多数点の膜厚測定を行なうことができる。

#### 【0022】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面を参照して説明する。図4及び図5に本発明に係るX線反射プロファイル測定装置の一実施例の構成を示す。図4は本発明に係るX線反射プロファイル測定装置の側面図であり、図5はその試料部及び検出部の平面図である。これらの図において1はライン状X線源であり、Cuターゲットを用い、長さ30mmの線源を用いた。3はX線の横発散を制限するスリットで、板厚0.05mm、大きさ100×20mmの薄板を0.2mm間隔で200枚積層したものを使いた。これによりX線束の横発散が3mrad以下に抑えられる。

【0023】4及び5はX線束の縦発散を抑えるとともにシート状のX線束を形成するためのスリットであり、

それぞれ幅30mm、間隙0.1mmにした。X線束の縦発散を1mrad以下にするためスリット4とスリット5との間隔を200mmにした。

【0024】6はX線単色器であり、結晶分光器あるいはフィルタが用いられる。本実施例ではSiのチャンネルカット結晶分光素子（反射面はSi(111)）を用いた。これによりX線源1から水平方向に取り出したシート状のX線束は分光後も水平X線束となり、後置の装置調整が容易になる。フィルタの場合もX線源から水平方向に取り出したシート状のX線束は分光後も水平X線束となり、後置の装置調整が容易である。X線単色器としてのフィルタは、結晶分光器に比べ、安価で簡単、かつ高強度が得られるという利点があるが、波長分解能がやや悪くなる。

【0025】今、チャンネルカット結晶分光素子から射したX線束の進行方向をy軸とし、X線束面内でy軸に垂直な方向をx軸、x軸及びy軸に垂直な方向をz軸とする。9及び10は試料台を構成する試料の駆動に関する機構部で、10は初期光学系の調整機構を含む試料の角度走査機構、9は試料角度走査機構10の上に設置された試料調整機構で、X線束7と試料11表面との平行性調整用のx軸、z軸回りの回転機構とz軸方向調整機構及び試料のx、y方向の並進機構により構成されている。

【0026】12は検出スリット、14は前面にx方向に細隙のあるスリットを具備した1チャンネルの検出器リット12および検出器14の角度走査用回転軸と試料の角度走査機構10の角度走査用回転軸とを同軸にすることも可能であるが、ここでは機構部の簡単化を図るために、独立にした。即ち、15は、検出スリット12と、検出走査機構13を介して設置される検出器14とが搭載された駆動台としての機能を有する、検出スリット12及び検出器14走査のための検出部駆動機構を含む駆動台であり、検出スリット12及び検出器14をz方向に駆動できるように構成され、制御装置16により試料角度に対応させてz方向に直進走査するように構成されている。このように構成することにより、検出系とは全く独立に試料に関わる各種調整が可能となった。

【0027】上記構成からなるX線反射プロファイル測定装置によりX線反射プロファイルを以下の手順で計測した。

【0028】まず、チャンネルカット結晶分光素子より射したシート状X線束が検出スリット12を通るように駆動台15を調整する。この位置を角度0度に設定する。次に試料の角度走査の中心軸がx軸に一致するように角度走査機構10に組み込まれている調整機構により調整する。これらの調整は装置設置時に一度行えば良

い。

【0029】次にX線束7と試料11表面との平行性を試料台に組み込んだ調整機構9により調整する。この調整により角度走査の中心軸が試料11表面上に来る。

【0030】次に平行性の調整終了後に試料11を試料角度走査機構10により所定の初期角度 $\theta_1$ に設定する。この時シート状X線束7は試料11上にある角度走査中心軸上のラインL上で $2\theta_1$ の方向にシート状の反射X線束となって反射される。この場合に検出スリット12をRtan( $2\theta_1$ )だけ駆動台15に含まれる検出部駆動機構によりz方向に直進移動させれば反射されたX線のみ検出スリット12を通過し、検出器14に到達する。ここでRは試料の回転中心と検出器スリットとの距離である。

【0031】今、検出器14の並進走査をステップ的に行うことにして、例えばステップ1で計測されたX線の強度をメモリ17内のチャンネル1のデータ1に、ステップ2で計測された強度をメモリ17内のチャンネル2のデータ1に、同様にステップiで計測された強度をメモリ17内のチャンネルiのデータ1に格納する。

【0032】このようにしてx方向にX線束の幅だけ検出器14を走査した後、検出器14を初期位置に戻す。この後、試料角度を微小角度回転させ上記の走査を繰り返す。この走査を予め設定しておいた角度 $\theta_2$ まで行えばメモリ内のチャンネルjのデータ点列は試料上のステップ間隔xjの位置のX線反射プロファイルを与える。

【0033】本実施例によれば、1回の試料角度調整で試料上のラインに沿ってX線束の幅に対応する領域のX線反射プロファイルが検出器14の走査ステップ数だけ測定することができ、膜厚計測の所要時間が大幅に短縮されるという効果がある。

【0034】また得られた膜厚分布結果をディスプレイ18等に表示すれば、試料面内での膜厚変化が明瞭に観察できる。さらに試料搬送機構を試料台に接続すれば、多くの試料の膜厚をより短時間で測定することが可能になる。

【0035】図6に本発明の他の実施例の構成を示す。本実施例は、上記実施例における1チャンネルの検出器14の代わりに一次元の位置敏感型検出器19を用いたものである。一次元位置敏感型検出器19には有効長50mm、窓高さ10mm、位置分解能0.2mmのPSPC(Position Sensitive Proportional Counter)を用いた。チャンネル数はマルチチャンネルアナライザ21により256-1024チャンネルが任意に選べるように構成されている。

【0036】反射X線を検出スリット12まで導くための手順は上記実施例と同様である。一次元の位置敏感型

検出器 19 に到達した X 線束 7 はマルチチャンネルアナライザ 21 により選択されたチャンネル数に対応して各チャンネルごとにその強度が記録される。予め設定された時間計測された後、マルチチャンネルアナライザ 21 からメモリ 17 に各チャンネル毎に計測強度を転送、角度  $\theta_1$  のときの強度として格納される。この後、試料角度を角度走査機構 10 により所定の微小角回転させ、上記の操作を予め設定しておいた角度  $\theta_2$  まで行う。

【0037】以上の手順によりチャンネル数を 256 に選び角度  $\theta$  を 0.3 度から 1.0 度まで計測した。メモリ 17 内の各チャンネルのデータ点列は試料上のライン L に沿っての X 線反射プロファイルを与えるが、ここでは 4 チャンネル分を加えあわせ 64 点の反射プロファイルを得た。それぞれの振動パターンから試料 11 上のライン L に沿っての膜厚が求められるが、一次元位置敏感型検出器 19 の有効長が 50 mm、X 線束 7 の幅が 30 mm であるため有効な試料上の点数は 38 点である。すなわち、試料 11 上 30 mm の領域に対し 38 点の膜厚が 1 回の試料角度調整で求められた。この後、試料を y 方向（場合によっては x 方向に）に適宜、移動させて上記の計測を繰り返せば試料 11 全体の膜厚分布が得られることになる。

【0038】本実施例では検出器を X 線束の幅方向に走査すること無しに 1 回の試料角度調整で試料上のあるラインに沿って X 線束の幅に対応する領域の X 線反射プロファイルが計測でき、計測所要時間が、さらに短縮され抑制のためのスリットを用いること、試料台と検出器駆動台を独立の機構にすること、検出器に走査駆動の可能な検出器あるいは位置敏感型検出器を用いることは図 4、図 6 に示した実施例と同じである。本実施例が図 4、図 6 に示した実施例と構成上、異なるのは結晶分光器にヨハンソン型の湾曲結晶分光器 22 を用い、開き角を持った X 線束を作り、角度走査を試料前方に設置した入射スリットの駆動機構 23 により行うようにした点である。

【0040】図 7において 22 はヨハンソン型湾曲結晶分光器、4 は擬似 X 線源とするためのスリット、8 は角度走査のための入射スリットである。一般に光源及び分光器をローランド円上に設置すれば、光源より開き角を持って出射した X 線は分光器により分光されるとともにローランド円上の 1 点に集光する。ここでは、擬似 X 線源 4 がライン状であることから集光点もライン (L) 状となる。

【0041】今、Si (220) を反射面とするヨハンソン型湾曲結晶分光器 22 を作製し、該ヨハンソン型湾曲結晶分光器 22 にスリット 4 から出射した開き角を持った X 線束を照射し、ライン L 上に開き角 2 度の X 線束

を生成した。角度走査用の入射スリット 8 及び検出スリット 12 とライン L との距離 R を 300 mm に設定した。試料 11 の測定位置を試料傾斜・位置調整機構 9 によりライン L に一致させた後、入射スリット 8 を  $R \tan \theta$  ( $\theta$  は試料への X 線束の入射角度) で z 方向に直進走査することにより角度走査を行った。

【0042】また検出スリット 12 も入射スリット 8 の直進走査に同期させて  $R \tan \theta$  だけ z 方向に直進走査することにより反射 X 線を検出した。以後、反射プロファイルの計測は図 4 あるいは図 6 に示した実施例と同様にして行った。

【0043】本実施例によれば、試料台に角度走査機構を設ける必要がなく、試料台の構成が簡単になると共に、より大きい試料台がより簡単に作製可能になるという効果がある。

【0044】次に本発明の他の実施例を図 8 に示す。図 8 に実施例は図 7 に示す実施例において X 線検出器として二次元の位置敏感型検出器 24 を用いたものである。本実施例では X 線束の試料への入射角度を走査する機構は全て取り除き、試料の被測定個所に角度の拡がりをもった広幅の X 線束を照射し、二次元の位置敏感型検出器 24 で X 線束の幅方向には試料位置の情報を、また角度方向には反射プロファイルの角度情報を同時に記録する方法である。ここでは二次元の位置敏感型検出器として揮尽性フィルムを用いた。このフィルムは検出部駆動機構 15 により支持されており、これによりフィルムの位相台の構成を大幅に簡単化することが可能になるという効果がある。

#### 【0046】

【発明の効果】以上説明してきたように、本発明によれば、試料に照射する X 線をシート状の X 線束にし、該 X 線束と試料との交線上の各位置から反射される X 線を試料位置毎に計測、記録することにより、1 回の試料角度調整で試料上のラインに沿って X 線束の幅に対応する領域の X 線反射プロファイルが多数測定することができ、それ故、反射プロファイルの計測所要時間が大幅に短縮でき、延いては膜厚計測の所要時間が大幅に短縮されるという効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の試料上のラインに沿って 1 回の試料傾斜、位置調整で多数の X 線反射プロファイルを測定する X 線反射プロファイル測定装置の基本構成図である。

【図 2】従来の X 線反射プロファイル測定装置を示す構成図である。

【図 3】X 線反射プロファイルの一例を示す模式図である。

【図 4】本発明に係る X 線反射プロファイル測定装置の

一実施例の構成を示す側面図である。

【図 5】図 4 に示した X 線反射プロファイル測定装置の検出部の平面図である。

【図 6】本発明に係る X 線反射プロファイル測定装置の他の実施例を示す構成図である。

【図 7】本発明に係る X 線反射プロファイル測定装置の他の実施例を示す構成図である。

【図 8】本発明に係る X 線反射プロファイル測定装置の他の実施例を示す構成図である。

【符号の説明】

- 1 ライン状 X 線源
- 3 横発散制限用スリット
- 4 縦発散制限用第 1 スリット
- 5 縦発散制限用第 2 スリット
- 6 X 線単色器
- 7 単色 X 線束

8 入射スリット

9 試料傾斜・位置調整機構

10 初期光学系調整機構を内蔵した試料角度走査機構

11 試料

12 検出スリット

13 検出器走査機構

14 細隙スリット付き検出器

15 駆動台

16 制御装置

17 メモリ

19 一次元位置敏感型検出器

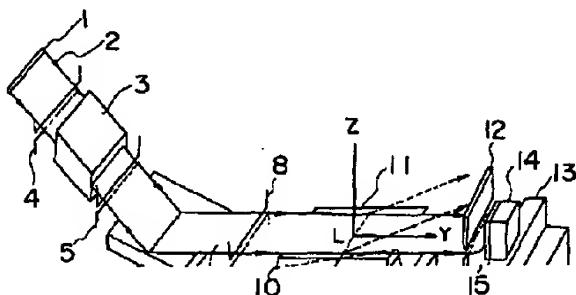
21 マルチチャンネルアナライザ

22 湾曲型結晶分光素子

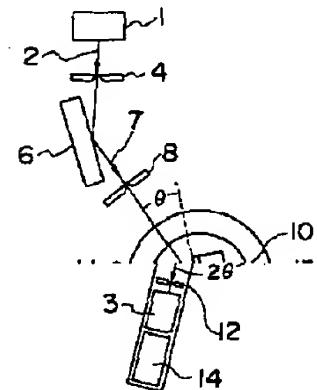
23 入射スリット駆動機構

24 二次元位置敏感型検出器

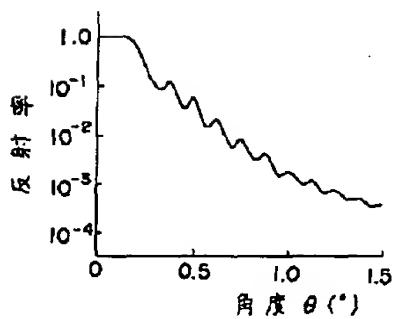
【図 1】



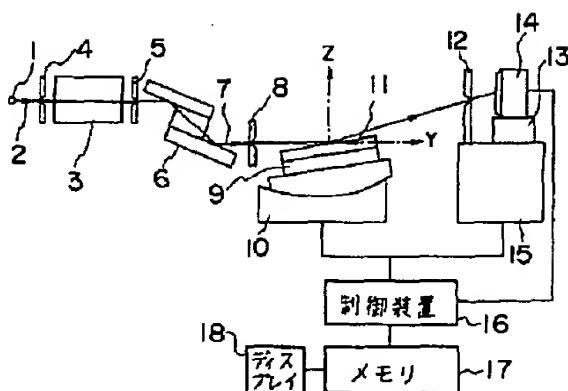
【図 2】



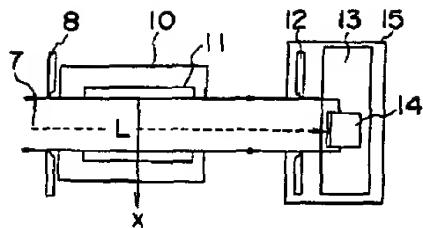
【図 3】



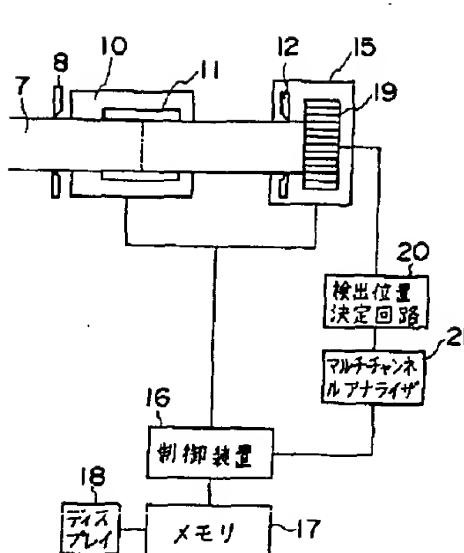
【図 4】



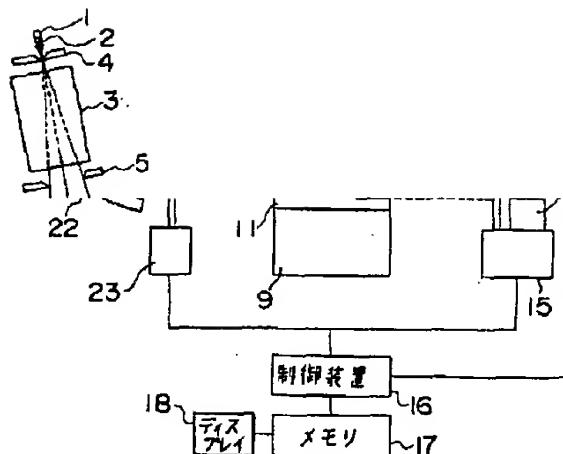
【図5】



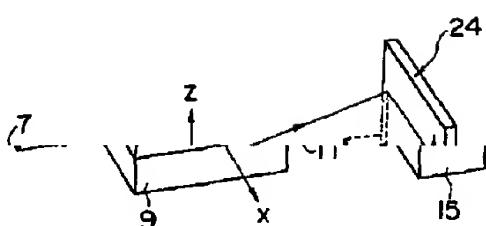
【図6】



【図7】



【図8】



## フロントページの続き

- (56) 参考文献      特開 昭63-139238 (JP, A)  
                     特開 平4-121649 (JP, A)  
                     特開 平1-291148 (JP, A)  
                     特開 昭62-290445 (JP, A)  
                     特開 平1-133000 (JP, A)  
                     特開 昭62-103552 (JP, A)  
                     特開 昭62-203049 (JP, A)  
                     特開 平2-296138 (JP, A)

**Japanese Patent Office  
Patent Gazette**

**Patent No.** 2720131  
**Date of Registration:** November 21, 1997  
**Date of Publication of Gazette:** February 25, 1998  
**International Class(es):** G01N 23/207  
G01B 15/02

( 8 pages in all)

---

**Title of the Invention:** Method and Device for Measuring  
Reflected Profile of X rays

**Patent Appln. No.** 4-123811  
**Filing Date:** May 16, 1992  
**Inventor(s):** Katsuhisa Usami  
Norio Kobayashi  
**Patentee(s):** Hitachi, Ltd.

(19)日本国 許序 (JP)

(12)特許公報 (B2)

(11)特許号 11/21/97

第2720131号

(45)発行日 平成10年(1998)2月25日

(24)登録日 平成9年(1997)11月21日

(51)Int.Cl.\*  
G 01 N 23/207  
G 01 B 15/02

識別記号 庫内整理 号

F I  
G 01 N 23/207  
G 01 B 15/02技術表示箇所  
Z

Applied 5/15/92

Filed 12/1/93  
請求項の数3(全8頁)

(21)出願番号 特願平4-123611  
 (22)出願日 平成4年(1992)5月15日  
 (65)公開番号 特開平5-322804  
 (43)公開日 平成5年(1993)12月7日

(73)特許権者 000005108  
 株式会社日立製作所  
 東京都千代田区神田駿河台四丁目6地  
 宇佐美 勝久  
 茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社  
 日立製作所 日立研究所内  
 (72)発明者 小林 恵理  
 茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社  
 日立製作所 日立研究所内  
 (74)代理人 弁理士 黒沼 民之

審査官 森 竜介

Mr. Kobayashi  
 Hitachi Prefecture  
 Ibaraki  
 Mr. Usami 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 X線反射プロファイル測定方法及び装置

## (57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 高さ方向に開き角を有するシート状X線束を生成し、該シート状X線束を単色化すると共に、該単色化されたシート状X線束をスリットを通して試料表面上で聚焦させ、該スリットを単色化されたシート状X線束の高さ方向にステップ状に移動させることにより試料へのシート状X線束の入射角を変更し、この入射角に応じて試料からの反射シート状X線束を検出するX線検出手段の検出部を一定の間隔に基づいて移動させることを特徴とするX線反射プロファイル測定方法。

【請求項2】 ライン状のX線束を発生するライン状X線源と、  
 該ライン状X線源から出射されたX線束の幅方向の発散を制限する第1の発散制限用スリットと、  
 該第1の発散制限用スリットから出射されたX線束の高

10

さ方向の発散を制限する第2の発散制限用スリットと、  
 該第2の発散制限用スリットから出射されたシート状X線束を単色化するX線単色化手段と、  
 試料の位置調整を行なう試料搬送及び位置調整手段を含む試料支持台と、  
 試料に入射されるシート状X線束と試料とのなす角度を走査する試料角度走査手段と、  
 試料からの反射X線を通過せしめる検出スリットと、  
 該検出スリットを介して試料より反射されたX線の強度を検出するX線検出手段と、  
 該X線検出手段を該X線検出手段に入射されるシート状X線束の幅方向に直進走査する検出部走査手段と、  
 前記検出スリット、X線検出手段及び検出部走査手段が搭載された検出部支持台と、  
 該検出部支持台に搭載された検出スリット及びX線検出

English Translation of Japanese Patent No. 2720131**Title of the Invention**

Method and Device for Measuring Reflected Profile of X rays

**Scope of Claims for Patent**

1. A method of measuring a reflected profile of X rays, comprising the steps of:

generating a sheet-shaped X ray flux having an angular aperture in the height-wise direction, monochromatizing the sheet-shaped X ray flux, focusing the monochrome sheet-shaped X ray flux on a surface of a sample through a slit, scanning the incident angle of the sheet-shaped X ray flux to the sample by moving the slit stepwise in the height-wise direction of the monochrome sheet-shaped X ray flux, and moving a detection portion in X ray detection means for detecting a sheet-shaped X ray flux reflected from the sample according to the incident angle based on a prescribed relation.

2. A device for measuring a reflected profile of X rays, comprising:
  - a line-shaped X ray source for generating a line-shaped X ray flux;
  - a first divergence restricting slit for restricting the divergence of an X ray flux emitted from the line-shaped X ray source in the width-wise direction of the X ray flux;
  - a second divergence restricting slit for restricting the divergence of an X ray flux emitted from the first divergence restricting slit in the height-wise direction of the X ray flux;
  - means for monochromatizing a sheet-shaped X ray flux emitted from the second divergence restricting slit;
  - a sample supporting base including sample inclination and position adjusting means for adjusting the position of a sample;

sample angle scanning means for scanning an angle formed by a sheet-shaped X ray flux incident to a sample and the sample;

a detection slit for allowing an X ray reflected from a sample to pass therethrough;

X ray detection means for detecting the intensity of an X ray reflected from a sample through the detection slit;

detection portion scanning means for scanning straightforward the X ray detection means in the width-wise direction of a sheet-shaped X ray flux incident to the X ray detection means;

a detection portion supporting base having placed thereon said detection slit, X ray detection means and detection portion scanning means;

detection portion supporting base scanning means for angle-scanning the detection slit and the X ray detection means on the detection portion supporting base based on the reflection angle of a sheet-shaped X ray flux reflected from a sample; and

control means for controlling the driving of said sample angle scanning means and detection portion supporting base scanning means based on a prescribed relation such that a sheet-shaped X ray flux reflected from a sample is detected by said X ray detection means based on the angle formed by the incident sheet-shaped X ray flux and the sample, said sample angle scanning means including a scanning mechanism portion for rotatable scanning by driving a sample to rotate, said detection portion supporting scanning means including a scanning mechanism portion for scanning straightforward said detection slit and detection means provided on said detection portion supporting base.

3. A device for measuring a reflected profile of X rays, comprising:  
a line-shaped X ray source generating a line-shaped X ray flux;

a first divergence restricting slit for restricting the divergence of an X ray flux emitted from the line-shaped X ray source in the width-wise direction of the X ray flux;

a second divergence restricting slit for restricting the divergence of an X ray flux emitted from the first divergence restricting slit in the height-wise direction of the X ray flux so as to provide an angular aperture;

means for monochromatizing a sheet-shaped X ray flux emitted from the second divergence restricting slit;

X ray flux incidence means for determining the height-wise size of a sheet-shaped X ray flux emitted from the second divergence restricting slit and having an angular aperture in the height-wise direction of the flux irradiated upon a sample;

a detection slit for allowing an X ray reflected from a sample to pass therethrough;

X ray detection means for detecting the intensity of an X ray reflected from a sample through the detection slit;

detection portion scanning means for scanning straightforward the X ray detection means in the width-wise direction of a sheet-shaped X ray flux incident to the X ray detection means;

a detection portion supporting base having placed thereon said detection slit, X ray detection means and detection portion scanning means;

detection portion supporting base scanning means for angle-scanning the detection slit and the X ray detection means on the detection portion supporting base based on the reflection angle of a sheet-shaped X ray flux reflected from a sample; and

control means for controlling the driving of said X ray flux incidence means and detection portion supporting base scanning means based on a prescribed relation such that a sheet-shaped X ray flux reflected from a

sample is detected by said sample X ray detection means based on the angle formed by the incident sheet-shaped X ray flux and the sample, said X ray monochromatizing means including a Johansson type concave crystal dispersive element, said X ray flux incidence means including a slit having a supporting mechanism capable of straightforward scanning, said line-shaped X-ray source and said concave surface of the Johansson type concave crystal dispersive element being provided on a Rowland circle, a sample being provided at the position where a sheet-shaped X ray flux emitted from said Johansson concave crystal dispersive element is focused.

#### Detailed Description of the Invention

##### Applicable Field in the Industry

The present invention relates to a device for measuring the reflected profile of x rays suitable for measuring, quickly or in a nondestructive manner, the distribution of the thickness of films layered on a substrate in a material or element in the technological field of liquid crystal displays or semiconductor.

##### Prior Art

Materials or elements having a number of films layered on a substrate are used in various technological fields including the field of semiconductor. The thickness of resultant films often affects the characteristics of the material or element and therefore should be controlled accurately, and accurate measurement of the thickness or the measurement of the thickness distribution within the material is indispensable to this end.

From this viewpoint, there have proposed several conventional methods of measuring film thickness. Among proposed methods, a method using the reflected profile of an X ray can advantageously measure the thickness of a metal film on a substrate of a material not transparent to

light such as a Si substrate and a glass substrate or the thickness of a number of metal films. This is reported by the paper "K. Sakurai and A. Iida: to be published in (sic) Adv. X ray Anal. 35 (1992)", and such an X ray reflectance measuring device based on the method is commercially available.

The general process of measurement by a conventional device for measuring the reflected profile of X rays will be now described by referring to Fig 2. In Fig. 2, an X ray from an X ray source 1 is monochromatized (made monochrome) by an X ray monochromatizer 6 such as a crystal spectrograph or a filter, and a resultant monochrane X ray flux 7 is shaped by a slit 8 as desired and then directed upon a sample 11. Then, the intensity of an X ray reflected from sample 11 is measured as a function of the angle  $\theta$  of the X ray incident to sample 11.

Sample 11 and a detector having a detection slit 12 are rotated and scanned while keeping the relation represented by  $\theta / 2 \theta$  to measure the reflected profile.

If detection slit 12 is omitted, the reflected profile might be measured simply by scanning the  $\theta$  of the sample using a sufficiently large detector, in which case a low S/N results because of a scattering ray.

Fig. 3 is a schematic representation of a reflected profile. An oscillation pattern is generated in an angular region slightly larger than the entire reflection angle determined by the wavelength of an X ray and the material, and the thickness of films may be produced based on the cycle of the oscillation pattern. As can be seen from Fig. 3, the oscillation pattern is generated in a very small angular region, an incident X ray and the surface of a sample must be sufficiently parallel before measurement, and the conventional device measures one reflected profile after a single adjustment of the parallelism of a sample. As a result, thickness at only

one point is obtained for a single measurement. In the measurement of the thickness distribution, a sample is translated properly and scanned to obtain a reflected profile at each of prescribed measuring positions in order to obtain the thickness distribution for the entire sample. The conventional device also employs a rotating mechanism to perform  $\theta/2\theta$  scanning where the rotating axes of a sample base and a detector are the same, and a parallelism adjusting mechanism for an X ray and a sample and a sample translation mechanism are provided on the sample base.

#### Problems to be Solved by the Invention

The measurement of thickness by measuring the reflected profile of X rays as described above is advantageously applicable to any object and provides precise measurement.

However, the measurement of the thickness distribution by a conventional device for measuring the reflected profile of X rays is essentially performed on a point-by-point basis, a large number of reflected profiles must be measured while adjusting the parallelism between an incident X ray and the surface of a sample for every such measurement in order to measure the thickness distribution. Thus, the measurement of the thickness distribution takes disadvantageously long.

Furthermore, in the sample base used in the conventional device for measuring the reflected profile of X rays, the axis of scanning the angle of a sample and the axis of scanning the angle of the detector are the same, a mechanism for the translation-scanning and the parallelism-adjustment of the sample itself indispensable for measuring the thickness distribution is provided on the sample base, which increases the size of the sample base itself or complexes the construction in view of its applicability to large size samples.

The present invention is directed to a solution to the problems, and it

is an object of the invention to provide a method and a device for measuring a reflected profile of X rays which permits a number of reflected profiles to be measured with only a single positional adjustment of a sample, time required for adjusting the position of the sample and therefore time required for measuring the thickness distribution to be reduced, and a sample base to be simplified.

#### Means for Solving the Problems

By a method of measuring the reflected profile of X rays according to the present invention, a sheet-shaped X ray flux having an angular aperture in the height-wise direction is generated, the sheet-shaped X ray flux is made monochrome, the monochrome sheet-shaped X ray flux is focused on a surface of a sample through a slit, the incident angle of the sheet-shaped X ray flux into the sample is scanned by moving the slit stepwise in the height-wise direction of the monochrome sheet-shaped X ray flux, and a detection portion in X ray detection means for detecting a sheet-shaped X ray flux reflected from the sample is moved according to the incident angle based on a prescribed relation.

A device for measuring the reflected profile of X rays according to the present invention includes a line-shaped X ray source for generating a line-shaped X ray flux, a first divergence restricting slit for restricting the divergence of an X ray flux emitted from the line-shaped X ray source in the width-wise direction of the X ray flux, a second divergence restricting slit for restricting the divergence of an X ray flux emitted from the first divergence restricting slit in the height-wise direction of the X ray flux, means for monochromatizing a sheet-shaped X ray flux emitted from the second divergence restricting slit, a sample supporting base including sample inclination and position adjusting means for adjusting the position of a sample, sample angle scanning means for scanning an angle formed by

a sheet-shaped X ray flux incident to a sample and the sample, a detection slit for allowing an X ray reflected from a sample to pass therethrough, X ray detection means for detecting the intensity of an X ray reflected from a sample through the detection slit, detection portion scanning means for scanning straightforward the X ray detection means in the width-wise direction of a sheet-shaped X ray flux incident to the X ray detection means, a detection portion supporting base having placed thereon said detection slit, X ray detection means and detection portion scanning means, detection portion supporting base scanning means for angle-scanning the detection slit and the X ray detection means on the detection portion supporting base based on the reflection angle of a sheet-shaped X ray flux reflected from a sample, and control means for controlling the driving of said sample angle scanning means and detection portion supporting base scanning means based on a prescribed relation such that a sheet-shaped X ray flux reflected from a sample is detected by said X ray detection means based on the angle formed by the incident sheet-shaped X ray flux and the sample. Said sample angle scanning means includes a scanning mechanism portion for rotatable scanning by driving a sample to rotate, said detection portion supporting scanning means includes a scanning mechanism portion for scanning straightforward said detection slit and detection means provided on said detection portion supporting base.

A device for measuring the reflected profile of X rays according to the present invention includes a line-shaped X ray source generating a line-shaped X ray flux, a first divergence restricting slit for restricting the divergence of an X ray flux emitted from the line-shaped X ray source in the width-wise direction of the X ray flux, a second divergence restricting slit for restricting the divergence of an X ray flux emitted from the first divergence restricting slit in the height-wise direction of the X ray flux so

as to provide an angular aperture, means for monochromatizing a sheet-shaped X ray flux emitted from the second divergence restricting slit;

X ray flux incidence means for determining the height-wise size of a sheet-shaped X ray flux emitted from the second divergence restricting slit and having an angular aperture in the height-wise direction of the flux irradiated upon a sample, a detection slit for allowing an X ray reflected from a sample to pass therethrough, X ray detection means for detecting the intensity of an X ray reflected from a sample through the detection slit, detection portion scanning means for scanning straightforward the X ray detection means in the width-wise direction of a sheet-shaped X ray flux incident to the X ray detection means, a detection portion supporting base having placed thereon said detection slit, X ray detection means and detection portion scanning means, detection portion supporting base scanning means for angle-scanning the detection slit and the X ray detection means on the detection portion supporting base based on the reflection angle of a sheet-shaped X ray flux reflected from a sample, and control means for controlling the driving of said X ray flux incidence means and detection portion supporting base scanning means based on a prescribed relation such that a sheet-shaped X ray flux reflected from a sample is detected by said sample X ray detection means based on the angle formed by the incident sheet-shaped X ray flux and the sample. Said X ray monochromatizing means includes a Johansson type concave crystal dispersive element, said X ray flux incidence means includes a slit having a supporting mechanism capable of straightforward scanning, said line-shaped X-ray source and said concave surface of the Johansson type concave crystal dispersive element are provided on a Rowland circle, and a sample is provided at the position where a sheet-shaped X ray flux emitted from said Johansson concave crystal dispersive element is focused.

#### Function

In the method of measuring the reflected profile of X rays as described above, a sheet-shaped X ray flux having an angular aperture in the height-wise direction is generated, the sheet-shaped X ray flux is made monochromatized, the monochromatized sheet-shaped X ray flux is focused on the surface of a sample, the slit is moved stepwise in the height-wise direction of the monochromatized sheet-shaped X ray flux, the angle of the sheet-shaped X ray flux incident to the sample is scanned, and a detection portion in the X ray detection means to detect a sheet-shaped X ray flux reflected from the sample is moved according to a prescribed relation based on the incident angle.

In the device for measuring the reflected profile of X rays as described above, a line-shaped X ray flux is generated from a line-shaped X ray source, the width-wise divergence of an X ray flux emitted from the line-shaped X ray source is restricted by the first divergence restriction slit, and the height-wise divergence of the X ray flux emitted from the first divergence restriction slit is restricted by the second divergence restriction slit. A sheet-shaped X ray flux emitted from the second divergence restriction slit is made monochrome by X ray monochromatizing means, and the angle formed by the monochromatized sheet-shaped X ray flux incident to a sample and the sample is scanned by sample angle scanning means. The intensity of an X ray reflected from the sample through the detection slit is detected by X ray detection means which is scanned straightforward by detection portion scanning means in the width-wise direction of the sheet-shaped X ray flux incident to the X ray detection means. The angles of the detection slit and the detection means at the detection portion supporting base having said detection slit, X ray detection means and detection portion scanning means provided thereto are scanned

based on the reflection angle of the sheet-shaped X ray flux reflected from the sample, by the detection portion supporting base scanning means. Said sample angle scanning means and detection portion supporting base scanning means are controlled to be driven by the control means according to a prescribed relation such that the sheet-shaped X ray flux reflected from the sample is detected by said X ray detection means based on the angle formed by the incident sheet-shaped X ray flux and the sample.

In the device for measuring the reflected profile of X rays as described above, a line-shaped X ray flux is generated by a line-shaped X ray source, the width-wise divergence of the X ray flux emitted from the line-shaped X ray source is restricted by the first divergence restriction slit, and the height-wise divergence of the X ray flux emitted from the first divergence restriction slit is restricted by the second divergence restriction slit to provide an angular aperture. The sheet-shaped X ray flux emitted from the second divergence restriction slit is made monochrome by X ray monochromatizing means, emitted from the X ray monochromatizing means, the size of the sheet-shaped X ray flux having the angular aperture in the height-wise direction irradiated upon the sample is determined by the X ray flux incidence means and the intensity of the X ray reflected from the sample through the detection slit is detected by the X ray detection means. The X ray detection means is scanned straightforward in the width-wise direction of the sheet-shaped X ray flux incident to the X ray detection means, and the angles of the detection slit and the detection means at the detection portion supporting base having thereon said detection slit, the X ray detection means, and the detection portion scanning means are scanned by the detection portion supporting base scanning means based on the reflection angle of the sheet-shaped X ray flux reflected from the sample. Said X ray flux incidence means and the detection portion supporting base

scanning means are controlled and driven by the control means according to a prescribed relation so that the sheet-shaped X ray flux reflected from the sample is detected based on the angle formed by the incident sheet-shaped X ray flux and the sample.

An X ray flux 2 emitted from a line-shaped X ray source 1 has its width-wise divergence restricted by a slit 3, and its height-wise divergence restricted by slits 4 and 5 which are formed large enough in the width-wise direction and small in the height-wise direction and forms a sheet-shaped parallel enough X ray flux. Subsequently, the X ray flux is made monochrome by X ray monochromatizer 6 (such as a crystal spectrograph or an appropriate filter) to obtain a sheet-shaped monochrume X ray flux 7.

Now, the advancing direction of monochrome X ray flux 7 is on the y-axis, the vertical direction to the advancing direction is on the x- and z-axes. The parallelism between sheet-shaped X ray flux 7 and sample 11 is adjusted by a sample inclination and position adjusting mechanism 9, and then sample 11 is inclined by an angle  $\theta$  relative to X ray flux 7, which is reflected on the central line of rotation on the surface of sample 11 and reflected in the  $2\theta$ -direction as a sheet-shaped reflected X ray flux.

A driving base 15 including a detection driving mechanism having a detection slit 12 and a detector 14 is driven to move detector 14 straightforward in the z-direction by  $R \tan(2\theta)$  (where R represents the distance between the center of rotation of the sample and the detection slit), so that the reflected X ray flux passes through detection slit 12 to reach detector 14.

The parallelism of X ray flux 7 is maintained after it is reflected by sample 11, and therefore each position of detection slit 12 in the width-wise direction corresponds to a position of sample 11 on line L on a one-to-one basis. More specifically, detector 14 provided following detection slit 12 is

scanned in the width-wise direction to sequentially measure the intensity of the X ray transmitted at each position in order to measure the reflection intensity on the line L of sample 11 at angle θ. Then angle θ of sample 11 relative to X ray flux 7 is sequentially scanned and driving mechanism 15 including a detection portion driving mechanism to scan straightforward detector 14 by Etan (2θ) in the z-direction in order to sequentially measure the intensity of the X ray by detector 14, such that a reflected profile at each position on the line L of sample 11 is obtained. By analyzing the reflected profiles by an appropriate method, thickness at each point on line L may be obtained, and thickness at a number of points on the sample may be measured by adjusting the parallelism between the X ray flux and the sample only once.

#### Embodiments

Embodiments of the present invention will be now described in conjunction with accompanying drawings. Fig. 4 and 5 show a device for measuring the reflected profile of X rays according to one embodiment of the invention. Fig. 4 is a side view of the device for measuring the reflected profile of X rays according to the embodiment, and Fig. 5 is a plan view of the sample portion and the detection portion thereof. In these figures, 1 represents a line-shaped X ray source, and a Cu target and a line source as long as 30 mm are used. Reference numeral 3 represents a slit for restricting the widthwise divergence of an X ray and formed by layering 200 thin plates as large as 100 x 20 mm and as thick as 0.05 mm at intervals of 0.2 mm. Thus, the widthwise divergence of the X ray flux may be restricted under 3 mrad.

Slits 4 and 5 restrict the height-wise divergence of an X ray flux, also serve as a slit for forming a sheet-shaped X ray flux and each have a width of 30 mm and a gap of 0.1 mm. The distance between slits 4 and 5 is 200

mm in order to restrict the height-wise divergence of the X ray flux under 1 mrad.

Reference numeral 6 represents an X ray monochromatizer, and a crystal spectrograph or a filter is used therefor. In this embodiment, a Si channel cut crystal spectrograph (the reflection surface is Si (111)) is used. Thus, the sheet-shaped X ray flux extracted in the horizontal direction continues to be a horizontal X ray flux after dispersion, which alleviates the adjustment of succeeding elements. The filter serving as the X ray monochromatizer is inexpensive and simple and provides a higher intensity than the crystal spectrograph, but the wavelength resolution is rather lower.

Now, the advancing direction of an X ray flux emitted from the channel cut crystal spectrograph is on the y-axis, the direction perpendicular to the y-axis within the X ray flux plane is on the x-axis, and the direction perpendicular to the x- and y- axes is on the z-axis. Numerals 9 and 10 represent a mechanism portion related to the driving of the sample and forming the sample base, 10 represents a sample angle scanning mechanism including an adjusting mechanism for an initial optics, 9 represents a sample adjusting mechanism placed on sample angle scanning mechanism 10 and is formed by the z-axis for adjusting the parallelism between X ray flux 7 and the surface of sample 11, a rotating mechanism rotating around the z-axis, a z-axis adjusting mechanism, and a translation mechanism for a sample in the x- and y-directions.

Reference numeral 12 represents a detection slit, and 14 represents a one-channel detector having a slit with a small gap in the x-direction in the front, and a scintillation counter is used for the detector herein. Detector 14 can translate and scan in the x-direction of a sheet-shaped X ray flux reflected by detector scanning mechanism 13. The rotation axis of

scanning the angle of detection slit 12 and detector 14 and the rotating axis for scanning the angle of angle scanning mechanism 10 for the sample may be the same, but herein they are independent from each other to simplify the mechanism portion. More specifically, 15 represents a driving base including a detection portion driving mechanism for scanning detection slit 12 and detector 14 having the function of the driving base on which detection slit 12 and detector 14 provided through detection mechanism 13 are formed to drive detection slit 12 and detector 14 in the z-direction and formed to scan straightforward in the x-direction corresponding to the angle of the sample by a control device 16. Thus, various adjustments related to the sample are permitted independently of the detection system.

The reflected profile of an X ray was measured according to the following process, using the device for measuring the reflected profile of X rays as described above.

First, driving base 15 is adjusted such that a sheet-shaped X ray flux emitted from a channel cut crystal spectrograph passes through detection slit 12. This position is set as angle 0. Then, the central axis in scanning the angle of a sample is adjusted to match the x-axis, using the adjusting mechanism incorporated in angle scanning mechanism 10. These adjustments need be performed only once when the device is installed.

Then, the parallelism between X ray flux 7 and the surface of sample 11 are adjusted, using adjusting mechanism 9 incorporated in the sample base. By this adjustment, the central axis in scanning the angle comes onto the surface of sample.

After the operation of adjusting the parallelism between them, sample 11 is set at a prescribed initial angle  $\theta_1$  by sample angle scanning mechanism 10. At this time, sheet-shaped X ray flux 7 is reflected on line

L on the central axis in scanning the angle on sample 11 in the direction of  $2\theta$  : as a sheet-shaped reflected X ray flux. In this case, if detection slit 12 is moved straightforward by  $R_{\text{tan}}(2\theta)$  in the z-direction using the detection portion driving mechanism included in driving base 15, only the reflected X ray passes through detection slit 12 to reach detector 14. Herein, K represents the distance between the rotational center of the sample and the detector slit.

Now let us assume that the translation scanning of detector 14 is performed stepwise, and the intensity of an X ray measured in step 1 for example is stored as data 1 in channel 1 in memory 17, the intensity measured in step 2 as data 1 in channel 2 in memory 17, and similarly the intensity measured in step i as data 1 in channel i in memory 17.

After detector 14 is thus scanned by the width of an X ray flux in the z-direction, detector 14 is returned to the initial position. Thereafter, the angle of the sample is rotated by a very small angle to repeat the above scanning operation. Once the scanning is performed up to a preset angle of  $\theta_s$ , the sequence of data points in channel j in the memory gives the reflected profile of an X ray at the position of step interval  $x_j$  on the sample. Subsequently, the sample is moved properly in the y-direction (or in the x-direction if necessary) to repeat the above measurement, such that the thickness distribution of the entire sample is obtained.

In this embodiment, the reflected profile of X rays in a region corresponding to the width of an X ray flux along a line on a sample is measured for the number of scanning steps by detector 14 only with a single adjustment of the angle of the sample, and therefore time required for measuring the thickness may be significantly reduced.

If the result of the thickness distribution thus obtained is indicated in a display 18 or the like, changes in the thickness within the surface of

the sample may be clearly observed. Furthermore, if a sample delivery mechanism is connected to the sample base, the thickness of a greater number of samples may be measured for a shorter period of time.

Fig. 6 shows another embodiment of the present invention. In this embodiment, a one-dimensional position sensitive detector 19 is used in place of one channel detector 14 according to the above embodiment. For one-dimensional position sensitive detector 19, A PSPC (Position Sensitive Proportional Counter) having an effective length of 50 mm, a window height of 10 mm, a positional resolution of 0.2 mm is used. The number of channels may be arbitrarily selected in the range from 256 to 1024 channels by a multi-channel analyzer 21.

The process of guiding a reflected X ray to detection slit 12 is the same as the above embodiment. X ray flux 7 having reached to one-dimensional position sensitive detector 19 has its intensity recorded for each of the channels corresponding to the number of channels selected by multi-channel analyzer 21. After the measurement for a preset time period, the measured intensity is transferred for each channel to memory 17 from multi-channel analyzer 21 and stored as the intensity at the angle of  $\theta_1$ . Then, the angle of the sample is rotated by a prescribed very small angle by angle scanning mechanism 10, and the above operation is repeated up to the prescribed angle of  $\theta_2$ .

Through the above process, the angle of  $\theta$  is measured from  $0.3^\circ$  to  $1.0^\circ$  while selecting 256 for the number of channels. The data point sequence in each channel in memory 17 gives a reflected profile of X rays along line L on the sample, and herein, reflected profiles at 64 points were obtained including 4 channel. The thickness is obtained along line L on sample 11 based on each oscillation pattern, while the effective length of one-dimensional position sensitive detector 19 is 50 mm, the width of X ray

flux 7 is 30 mm, and therefore effective thickness is obtained at 38 points on the sample. More specifically, the 38 thicknesses are obtained for the region of 30 mm on sample 11 only with a single sample angle adjustment. Then, the sample is moved in the y-direction (or in the x-direction if necessary), and the above measurement is repeated to obtain the thickness distribution of the entire sample 11.

In this embodiment, the reflected profiles of X rays in the region corresponding to the width of an X ray flux along a certain line on the sample may be measured with only a single sample angle adjustment without scanning the detector in the width-wise direction of the X ray flux, and therefore time required for measuring may be further shortened.

Fig. 7 shows another embodiment of the invention. As is the case with the embodiments shown in Figs. 4 and 6, a line-shaped X ray source is used, a slit is used for restricting the widthwise divergence of X ray flux 7, a sample base and a detector driving base are formed independent of each other, and a detector capable of scanning driving or a position sensitive detector is used. Unlike the embodiments shown in Figs. 4 and 6, a Johansson concave crystal dispersive element 22 is used for the crystal spectrograph, an X ray flux having an angular aperture is produced, and angular scanning is performed by a driving mechanism 23 for an incident slit provided in the front of the sample.

In Fig. 7, reference numeral 22 represents the Johansson concave crystal dispersive element, 4 a slit for forming a pseudo X ray source, and 8 an incident slit for angular scanning. In general, if an optical source and a dispersive element are placed on a Rowland circle, an X ray having an angular aperture emitted from the optical source is dispersed by the dispersive element and focused to one point on the Rowland circle. Herein, pseudo X ray source 4 is in a line-shape, the focusing point also takes a

line- (L) shape.

Now, Johansson concave crystal dispersive element 23 having a Si (220) reflection surface is fabricated, irradiated with an X ray flux having an angular aperture emitted from slit 4, and an X ray flux having an angular aperture of 2° is produced on line L. The distance between incident slit 8 and detection slit 12 for angle scanning and line L is set to 300 mm. The position to measure sample 11 is matched to line L using sample inclination/position adjusting mechanism 9, and then incident slit 8 is angle-scanned straightforward in the z-direction by Rtan θ (θ : the angle of the X ray flux incident to the sample).

In synchronism with the straightforward scanning of incident slit 8, detection slit 12 is also scanned straightforward in the z-direction by Rtan θ to detect a reflected X ray. Thereafter, the measurement of reflected profiles is performed, as is the case with the embodiments as shown in Figs 4 and 6.

In this embodiment, an angle scanning mechanism does not have to be provided to the sample base, which advantageously simplifies the construction of the sample base and makes it easier to manufacture a larger sample base.

Now, another embodiment of the invention is shown in Fig. 8. In the embodiment shown in Fig. 8, a two-dimensional position sensitive detector 24 is used for the X ray detector in the embodiment shown in Fig. 7. In this embodiment, the mechanisms for scanning the angle of an X ray flux incident to the sample are all removed, and a large width X ray flux having a large width with a larger angular range is irradiated upon the sample at positions to measure, and two-dimensional position sensitive detector 24 simultaneously records information on the position of the sample in the width-wise direction of an X ray flux and angular

information of a reflected profile in the angular direction. Herein, an accelerated phosphorescence film is used as the two-dimensional position sensitive detector. The film is supported by a detection portion driving mechanism 15, such that the position of the film may be adjusted.

In this embodiment, the angle scanning of the sample and the angle scanning of the detector are not necessary, which advantageously greatly shortens time required for measurement and significantly simplifies the construction of the sample base.

#### Effects of the Invention

As in the foregoing, according to the present invention, an X ray irradiated upon a sample is formed into a sheet-shaped X ray flux, a X ray reflected from each position on the crossing line of the X ray flux and the sample is measured and recorded for each position of the sample, and therefore a number of reflected profiles of X rays in a region corresponding to the width of the X ray flux may be measured along a line on the sample only by a single angular adjustment of the sample, which greatly reduces time required of measuring the profiles and also significantly reduces time required for measuring the thickness of films.

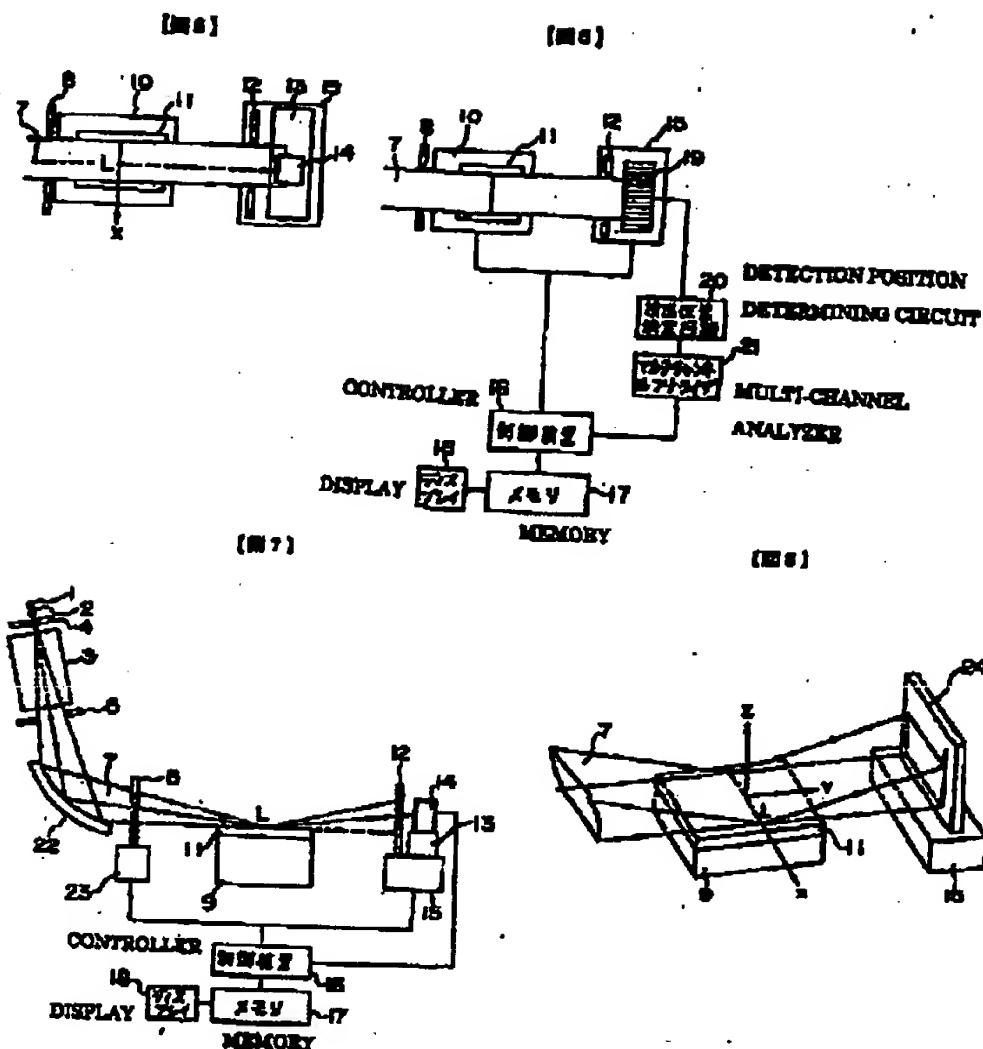
#### Brief Description of the Drawings

Fig. 1 is a view showing a device for measuring the reflected profile of X rays according to the present invention for measuring a number of reflected profiles of X rays with a single sample inclination/position adjustment along a line on the sample;

Fig. 2 is a view showing the basic construction of a conventional device for measuring the reflected profile of X rays;

Fig. 3 is a graph showing an example of the reflected profile of an X ray;

Fig. 4 is a side view of a device for measuring the reflected profile of



## フロントページの続き

- (50)参考文献
- 特開 平6-139223 (JP, A)
  - 特開 平4-121649 (JP, A)
  - 特開 平3-291141 (JP, A)
  - 特開 平2-280448 (JP, A)
  - 特開 平1-133400 (JP, A)
  - 特開 662-193552 (JP, A)
  - 特開 662-203069 (JP, A)
  - 特開 平2-296138 (JP, A)

(7)

一反射界面の構成を示す説明図である。

【図6】図4に示したX線反射プロファイル測定装置の  
被測定物の構成図である。【図6】本発明に係るX線反射プロファイル測定装置の  
他の実施例を示す構成図である。【図7】本発明に係るX線反射プロファイル測定装置の  
他の実施例を示す構成図である。【図8】本発明に係るX線反射プロファイル測定装置の  
他の実施例を示す構成図である。

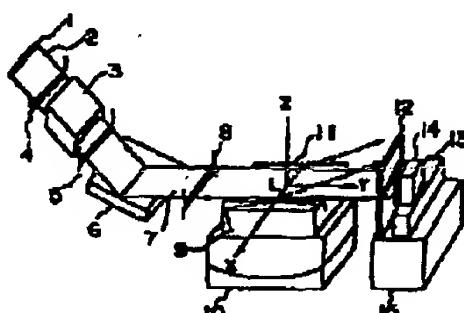
【符号の説明】

- 1 フィルタ又は遮光
- 2 検出スリット
- 3 検出器用導電スリット
- 4 調整用導電スリット
- 5 線密度測定用導電スリット
- 6 X線吸収器
- 7 單色X線束

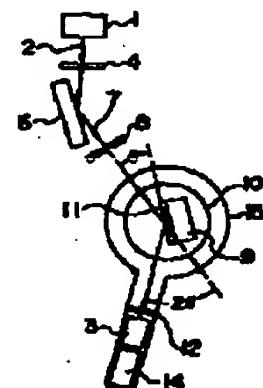
(7)

- 8 入射スリット
- 9 保持板制・位置調整機構
- 10 線密度測定結果を内蔵したX線反射装置
- 11 鏡面
- 12 検出スリット
- 13 検出器定位機構
- 14 検出スリット付き検出器
- 15 鏡面台
- 16 鏡面鏡
- 17 メモリ
- 18 一次元位置検出器検出器
- 21 マルチチャンネルデータライズ
- 22 線密度測定分光元件
- 23 入射スリット調整機構
- 24 二次元位置検出器検出器

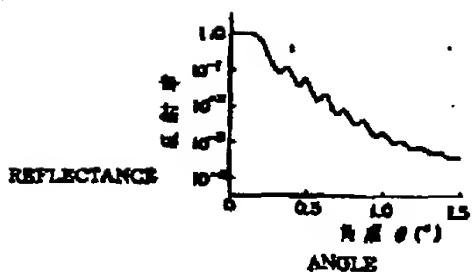
(図1)



(図2)



(図3)



(図4)

